

PCT/KR 03/00001

RO/KR 02.01.2003

REC'D 24 JUN 2003

WIPO PCT



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto is a true copy from the records of the Korean Intellectual Property Office.

출원 번호 :
Application Number

10-2002-0042275
PATENT-2002-0042275

출원 년 월 일 :
Date of Application

2002년 07월 19일
JUL 19, 2002

출원인 :
Applicant(s)

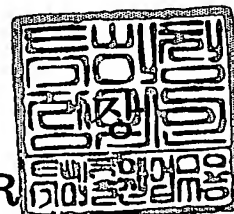
최세완
Se-wan, Choi

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



2003 년 01 월 02 일

특 허 청
COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【제출일자】	2002.07.19
【발명의 명칭】	중성선 전류 제거를 위한 저감된 정격의 능동 전력 필터 장치
【발명의 영문명칭】	Active power filter apparatus with reduced VA rating for neutral current suppression
【출원인】	
【성명】	최 세 완
【출원인코드】	4-2002-021855-8
【대리인】	
【성명】	김 종 수
【대리인코드】	9-1998-000113-9
【포괄위임등록번호】	2002-051060-8
【발명자】	
【성명】	최 세 완
【출원인코드】	4-2002-021855-8
【공개형태】	간행물 발표
【공개일자】	2002.07.03
【심사청구】	청구
【취지】	특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인 김 종 수 (인)
【수수료】	
【기본출원료】	20 면 29,000 원
【가산출원료】	8 면 8,000 원
【우선권주장료】	0 건 0 원
【심사청구료】	7 항 333,000 원
【합계】	370,000 원
【감면사유】	개인 (70%감면)
【감면후 수수료】	111,000 원

출력 일자: 2003/1/14

0020042275

【첨부서류】

1. 요약서·명세서(도면)_1통 2. 공지에외적용대상(신규성상
실의예외, 출원시의특례)규정을 적용받 기 위한 증명서류[
추후제출]_1통

【요약서】

【요약】

본 발명은 중성선의 고조파 전류를 감쇄시키는 능동 전력 필터 장치에 대한 것으로서, 특히 3상 4선식 전력 변환 시스템의 중성선에서 발생하는 고조파 전류를 효율적으로 감쇄시키는 물론 내부 인버터의 정격을 낮출 수 있도록 된 중성선 전류 제거를 위한 저감된 정격의 능동 전력 필터 장치에 대한 것으로서, 이는 3상 4선식 전력 시스템의 3상 교류 전원과 부하 사이를 연결하는 중성선에 발생하는 고조파 성분을 제거하기 위한 능동 전력 필터 장치에 있어서, 상기 중성선에 직렬로 접속되고 소정 전압제어신호를 근거로 부하측 중성선 전류의 기본파 성분은 상기 3상 교류전원측으로 흐르고 부하측 중성선 전류의 고조파 성분은 상기 부하측으로 순환되도록 상기 중성선의 전류 흐름을 단속하는 인버터부와, 상기 3상 교류 전원의 각 위상선과 상기 중성선 사이에 접속되어 상기 부하측 중성선 전류의 고조파 성분이 상기 위상선을 통해 부하측으로 순환되도록 전류 경로를 형성하는 변압기와, 상기 변압기와 상기 인버터부 사이에 접속되어 상기 변압기로부터 공급되는 소정 동작전원을 직류 전압으로 정류하여 상기 인버터부로 인가하는 정류부 및, 상기 중성선으로부터 추출된 부하측 중성선 전류의 제1 소신호와 전원측 중성선 전류의 제2 소신호를 근거로 상기 인버터부의 PWM 동작 제어를 위한 상기 전압제어신호를 생성하는 제어부를 포함하여 구성된 것을 특징으로 한다.

【대표도】

도 1

【명세서】

【발명의 명칭】

중성선 전류 제거를 위한 저감된 정격의 능동 전력 필터 장치{Active power filter apparatus with reduced VA rating for neutral current suppression}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 중성선 전류 제거를 위한 저감된 정격의 능동 전력 필터 장치의 회로 구성을 나타낸 회로도.

도 2는 본 발명에 따른 페루프 제어 시스템의 구성을 기능적으로 나타낸 기능 블록도.

도 3은 도 2의 페루프 제어 시스템에 따른 능동 전력 필터의 보상 특성을 나타낸 파형도.

도 4는 평형 부하일 때 본 발명에 따른 중성선 전류 제거를 위한 저감된 정격의 능동 전력 필터 장치의 시뮬레이션 파형을 나타낸 파형도.

도 5는 불평형 부하일 때 본 발명에 따른 중성선 전류 제거를 위한 저감된 정격의 능동 전력 필터 장치의 시뮬레이션 파형을 나타낸 파형도.

도 6은 불평형 부하일 때 부하측 중성선 전류와 전원측 중성선 전류 및 도 1의 지그재그 변압기를 통해 부하측으로 순환되는 고조파 전류의 주파수 스펙트럼을 나타낸 파형도.

도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따른 중성선 전류 제거를 위한 저감된 정격의 능동 전력 필터 장치의 회로 구성을 나타낸 회로도.

*** 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명 ***

11a, 11b, 11c : 3상 교류 전원,	12 : 부하,
13a, 13b, 13c : 위상선,	14 : 중성선,
21 : 60Hz 필터,	23 : 보상기,
24 : 삼각파 발생부,	25 : 비교기,
26 : 스위칭 블록,	27 : 수동소자 블록,
100 : 능동 전력 필터,	110 : 인버터부,
111 : 단상 전파 인버터 회로,	112 : 바이패스 스위치,
120 : 지그재그 변압기,	130 : 정류부,
140 : 제어부,	N : 중성점,
i_{Sa}, i_{Sab}, i_{Sac} : 전원측 상전류,	i_{La}, i_{Lab}, i_{Lac} : 부하측 상전류,
i_{nL} : 부하측 중성선 전류,	i_{ns} : 전원측 중성선 전류.

【발명의 상세한 설명】

【발명의 목적】

【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

<20> 본 발명은 중성선의 고조파 전류를 감쇄시키는 능동 전력 필터 장치에 대한 것으로서, 특히 3상 4선식 전력 변환 시스템의 중성선에서 발생하는 고조파 전류를 효율적으로 감쇄시키는 물론 내부 인버터의 정격을 낮출 수 있도록 된 것에 대한 것이다.

<21> 최근 상업용 빌딩, 주거용 빌딩 및 공장등의 저전압 3상 4선식 배전계통에서 컴퓨터장치, 무정전 전원 공급 장치(UPS : Uninterruptible Power Supply), 정류기기, 조명

장치 및 사무용 기기등 비선형 부하의 사용이 증가하고 있으며, 이들 비선형 부하의 사용으로 각 상전류는 비정현파(nonsinusoidal)로 되어 평형 부하인 경우에도 3차, 9차, 15차 등의 3조파(triplen harmonics)(고조파) 중성선 전류가 현저하게 흐르게 된다.

<22> 이러한 과도한 중성선 전류는 각종 문제를 일으키고 있으며, 과도한 중성선 전류는 중성선의 고장, 변압기의 과열 및 중성선과 접지사이의 전압강하등 심각한 문제를 야기시키고 있다. 다음 표1은 과도한 중성선 전류에 의해 발생하는 문제점을 예시한 것이다.

<23> 【표 1】

발생 장소	문제점
중성선	과전류에 의한 과열, 고장 및 화재
변압기	과부하, 과열 및 절연 파괴
차단기/계전기	빈번한 트리핑(Tripping) 및 오동작
계통내 소자	중성선 전류 과부하에 의한 손상
계측기	중성점과 접지점 간의 전압강하로 인한 오동작
케이블	중성선의 과열로 인한 위상 컨덕터(Conductor) 과열
분전반	전기 노이즈

<24> 따라서 과도한 중성선 전류를 감소시키기 위한 다양한 방식이 제안되고 있다. 예컨대 종래 3상 전원의 위상선 및 중성선에 지그재그(Zigzag) 변압기를 연결하는 방식[P.P. Khera, "Application of Zigzag Transformers for Reducing Harmonics in the Neutral Conductor of Low Voltage Distribution System", IEEE IAS conf. Rec, 1990, pp.1092]의 경우 부하에서 발생한 3조파의 영상 성분 전류를 지그재그 변압기로 순환시켜 전원측으로 흐르는 중성선 전류의 고조파 성분을 제거하도록 된 것이나, 이 방식은 중성선 전류 제거율이 시스템 임피던스에 영향을 받으며, 영상성분에 대한 임피던스를 작게 하기 위하여 변압기를 특수 설계해야 하기 때문에 변압기의 크기가 커지는 문제점이 있었다.

<25> 또한 [C.A. Quinn, N.Mohan, "Active Filtering of Harmonic Currents in Three-Phase, Four-Wire Systems with Three-Phase and Single-Phase Non-Linear Loads", in APEC 1992, pp.829-835]에 제안된 3상 4선식 능동 전력 필터의 경우 계통임피던스에 의한 영향을 거의 받지 않으며 중성선 전류 뿐만 아니라 각 상전류의 고조파까지 총체적으로 보상할 수 있는 방식이나, 이 방식은 제어가 복잡하고 부하용량대비 능동 전력 필터의 용량이 크고, 생산단가가 높아 일부 중요한 부하에만 제한적으로 사용을 하고 보편적으로 널리 사용하지 않고 있는 실정이다.

<26> 한편 [P.N. Enjeti, W. Shiren, "Analysis and Design of a New Active Power Filter to Cancel Neutral Current Harmonics in Three-Phase Four-Wire Electric Distribution Systems", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 30, no 6, Nov./Dec. 1994, pp. 1565-1572]에는 상술한 두가지 방식의 문제점을 보완하여 변압기의 크기를 줄이고, 생산단가를 낮춘 중성선 전류 고조파 제거용 능동전력필터가 제안되어 있으나, 이 방식은 필터에 구비되는 인버터의 전압 및 전류 정격이 높은 문제점이 있게 된다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

<27> 이에 본 발명은 상기한 사정을 감안하여 창출된 것으로서, 3상 4선식 전력 변환 시스템의 중성선에서 발생하는 고조파 전류를 효율적으로 감쇄시키는 물론 내부 인버터의 부하용량 대비 전압 및 전류 정격을 낮출 수 있도록 된 중성선 전류 제거를 위한 저감된 정격의 능동 전력 필터 장치를 제공함에 그 목적이 있다.

【발명의 구성 및 작용】

<28> 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 중성선 전류 제거를 위한 저감된 정격의 능동 전력 필터 장치는 3상 4선식 전력 시스템의 3상 교류 전원과 부하 사이를 연결하는 중성선에 발생하는 고조파 성분을 제거하기 위한 능동 전력 필터 장치에 있어서, 상기 중성선에 직렬로 접속되고 소정 전압제어신호를 근거로 부하측 중성선 전류의 기본파 성분은 상기 3상 교류전원측으로 흐르고 부하측 중성선 전류의 고조파 성분은 상기 부하측으로 순환되도록 상기 중성선의 전류 흐름을 단속하는 인버터부와, 상기 3상 교류전원의 각 위상선과 상기 중성선 사이에 접속되어 상기 부하측 중성선 전류의 고조파 성분이 상기 위상선을 통해 부하측으로 순환되도록 전류 경로를 형성하는 변압기와, 상기 변압기와 상기 인버터부 사이에 접속되어 상기 변압기로부터 공급되는 소정 동작전원을 직류 전압으로 정류하여 상기 인버터부로 인가하는 정류부 및, 상기 중성선으로부터 추출된 부하측 중성선 전류의 제1 소신호와 전원측 중성선 전류의 제2 소신호를 근거로 상기 인버터부의 PWM 동작 제어를 위한 상기 전압제어신호를 생성하는 제어부를 포함하여 구성된 것을 특징으로 한다.

<29> 상기한 구성에 의하면, 중성선에서 발생하는 고조파 전류를 효율적으로 감쇄시킴은 물론 내부 인버터의 부하용량 대비 전압 및 전류 정격을 낮출 수 있게 된다.

<30> 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시예를 설명하기로 한다.

<31> 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 중성선 전류 제거를 위한 저감된 정격의 능동 전력 필터 장치의 회로 구성을 나타낸 것이다.

- <32> 도 1에서 참조번호 11a, 11b, 11c는 전압이 같고 그 위상이 각각 120도 씩 차이나는 3상 교류 전원이고, 12는 정류기기, 조명장치, 사무용 기기 등의 부하(특히, 비선형 부하)이며, 13a, 13b, 13c은 3상 교류 전원(11a, 11b, 11c)과 부하(12) 사이를 연결하는 위상선(Phase Line)이고, 14는 부하(12)와 3상 교류 전원(11a, 11b, 11c) 사이를 연결하는 중성선(Neutral Line)이며, 참조부호 i_{Sa} , i_{Sb} , i_{Sc} 는 전원측 상전류이고, i_{La} , i_{Lb} , i_{Lc} 는 부하측 상전류이며, L_{sa} , L_{sb} , L_{sc} 는 3상 교류 전원(11a, 11b, 11c)의 전원 임피던스 성분을 나타낸 것이다.
- <33> 도 1에서 상기 3상 교류 전원(11a, 11b, 11c), 부하(12), 위상선(13a, 13b, 13c), 중성선(14) 및 전원 임피던스 성분(L_{sa} , L_{sb} , L_{sc})은 일반적인 3상 4선식 전력 시스템을 구성하게 된다.
- <34> 도 1에서 참조번호 100은 본 발명의 일실시예에 따른 능동 전력 필터로서, 이는 인버터부(110), 지그재그(Zigzag) 변압기(120), 정류부(130), 제1 및 제2 전류센서(CS1, CS2), 제어부(140)를 포함하여 구성된다.
- <35> 도 1에서 상기 인버터부(110)는 중성선(14)에 직렬로 접속되고, 제어부(140)로부터 인가되는 소정 전압제어신호(V_g)를 근거로 부하측 중성선 전류(i_{nL})의 기본파 성분은 3상 교류전원(11a, 11b, 11c)측으로 흐르고, 부하측 중성선 전류(i_{nL})의 고조파 성분(특히, 3차, 9차, 15차 등의 3조파 전류)은 3상 교류 전원(11a, 11b, 11c)측으로 유입되지 않고 지그재그 변압기(120)를 통해 부하(12)측으로 순환되도록 중성선(14) 전류의 흐름을 단속하기 위한 것이다.

- <36> 그리고 도 1에서 상기 인버터부(110)는 평활용 커패시터(C1), 단상 전파 인버터 회로(111), 리플 제거용 인덕터(L_f), 바이패스 스위치(112)를 구비하여 구성된다.
- <37> 상기 평활용 커패시터(C1)는 지그재그 변압기(120)의 중간 탭(Tap)(n1, n2, n3)으로부터 정류부(130)를 통해 공급되는 소정 직류 동작전원(V_d)를 평활하기 위한 것이고, 상기 단상 전파 인버터 회로(111)는 제어부(140)로부터 인가되는 전압제어신호(V_g)에 따라 펄스폭 변조(PWM : Pulse Width Modulation) 방식으로 동작되어 부하측 중성선 전류(i_{nL})의 고조파 성분이 지그재그 변압기(120)를 통해 부하(12)측으로 순환되도록 전류 흐름을 스위칭하기 위한 것이다.
- <38> 상기 단상 전파 인버터 회로(111)는 예컨대, 일반적인 H-브릿지 PWM 인버터 등을 이용하게 되고, 이에 대한 상세한 설명은 생략하기로 한다.
- <39> 상기 리플 제거용 인덕터(L_f)는 단상 전파 인버터 회로(111)의 출력단에서 스위칭 리플(Ripple)을 제거하기 위한 것이고, 상기 바이패스 스위치(112)는 단상 전파 인버터 회로(111)의 정상 동작시 개방 상태를 유지하다가(Normal off), 단상 전파 인버터 회로(111)의 고장시에는 제어부(140)로 인가되는 소정 제어신호에 따라 연결 상태로 전환하기 위한 것이다.
- <40> 한편 본 실시예에서 상기 인버터부(110)는 단상 전파 인버터로 구성하였으나 이를 주지된 단상 반파 인버터로 구성하는 것도 가능하다.
- <41> 도 1에서 상기 지그재그 변압기(120)는 그 중성점(N)이 중성선(14)에 연결되고 3개의 출력단이 각각 위상선(13a, 13b, 13c)에 연결되며 중성점(N)과 각 출력단 사이에 소정 분할비를 갖는 중간 탭이 형성된 제1 내지 제3 코일부를 구비하여 구성된다. 도 1에

서 상기 제1 코일부는 그 출력단으로부터 중성점(N) 방향으로 3개의 코일(L1-1, L1-2, L1-3)이 직렬 접속되어 구성되고, 코일(L1-2)과 코일(L1-3)의 접속 노드에 중간 탭이 형성된다. 동일한 방식으로 상기 제2 및 제3 코일부도 각각 코일(L2-1, L2-2, L2-3)과 코일(L3-1, L3-2, L3-3)이 직렬 접속되어 구성되고, 코일(L2-2)과 코일(L2-3)의 접속 노드와, 코일(L3-2)과 코일(L3-3)의 접속 노드에 각각 중간 탭이 형성된다.

<42> 본 실시예에서 상기 중간 탭은 각각 코일(L1-2) : 코일(L1-3), 코일(L2-2) : 코일(L2-3), 그리고 코일(L3-2) : 코일(L3-3)의 분할비(이하, "상측 코일 : 하측 코일의 분할비"라 칭함)가 예컨대, 0.8 : 0.2의 비율로 되는 지점에 형성되고, 인버터부(110)의 전류 제거에 필요한 직류 링크(Link) 전압이 낮아질수록 코일(L1-3, L2-3, L3-3)의 비율은 더욱 낮아지게 된다.

<43> 또한 도 1에서 제1 코일부의 코일(L1-1)과 제2 코일부의 코일(L2-2, L2-3)은 서로 평행하고, 제2 코일부의 코일(L2-1)과 제3 코일부의 코일(L3-2, L3-3)도 서로 평행하며, 제3 코일부의 코일(L3-1)과 제1 코일부의 코일(L1-2, L1-3)도 서로 평행하도록 구성된다.

<44> 상기 지그재그 변압기(120)는 중성선(14)으로부터 중성점(N)을 통해 유입되는 중성선 전류(i_{nL})의 고조파 성분을 부하(12)측으로 순환시키고, 그 중간 탭이 정류부(130)의 입력단에 각각 연결되도록 구성된다. 상기 정류부(130)는 지그재그 변압기(120)의 중간 탭으로부터 인가되는 교류 전원을 직류 전압으로 정류하여 인버터부(110)에 동작전원을 공급하기 위한 것이다.

- <45> 도 1에서 상기 제1 전류센서(CS1)는 중성선(14)을 통해 흐르는 부하측 중성선 전류(i_{nL})를 검출하여 제1 소신호(i_{nL}')를 출력하기 위한 것이고, 상기 제2 전류 센서(CS2)는 부하측 중성선 전류(i_{nL})에서 지그재그 변압기(120)로 유입되는 고조파전류(i_{nf})를 제외한 전원측 중성선 전류(i_{ns})를 검출하여 제2 소신호(i_{ns}')를 출력하기 위한 것이다. 이때 상기 제1 및 제2 소신호(i_{nL}' , i_{ns}')는 각각 부하측 중성선 전류(i_{nL}) 및 전원측 중성선 전류(i_{ns})와 동일한 신호 비율을 가지도록 추출된다.
- <46> 도 1에서 상기 제어부(140)는 제1 및 제2 전류센서(CS1, CS2)로부터 추출된 제1 및 제2 소신호(i_{nL}' , i_{ns}')를 근거로 부하측 중성선 전류(i_{nL})의 기본파 성분은 3상 교류전원(11a, 11b, 11c)측으로 흐르고, 고조파 성분은 지그재그 변압기(120)를 통해 부하(12)측으로 흐르도록 인버터부(110)의 PWM 동작을 단속하기 위한 소정 전압제어신호(V_g)를 생성하기 위한 것이다.
- <47> 상기한 구성에 의하면, 인버터부(110)의 PWM 동작 및 지그재그 변압기(120)의 전류 순환 동작에 따라 인버터부(110)로는 부하(12)가 평형인 경우 전류가 거의 흐르지 않게 되고, 부하(12)가 불평형인 경우 부하측 중성선 전류(i_{nL})에서 고조파 성분을 제외한 기본파 전류의 영상 성분만 흐르게 되어 인버터부(110)는 이러한 기본파 전류의 영상 성분만을 보상하면 되므로 종래에 비해 그 직류 동작전압(V_d)과 전류 정격이 낮아지게 된다.
- <48> 즉 부하(12)가 평형인 경우 제1 내지 제3 위상선(13a, 13b, 13c)를 통해 흐르는 부하측 상전류(i_{La} , i_{Lb} , i_{Lc})는 다음 수학식1과 같으며, 각 부하측 상전류(i_{La} , i_{Lb} , i_{Lc})의 합으로 표시되는 부하측 중성선 전류(i_{nL})는 다음 수학식2와 같이 고조파 성분인 3조

파 전류로 구성되고, 그 3조파 전류는 인버터부(110)의 PWM 동작에 따라 모두 지그재그 변압기(120)로 유입되어 인버터부(110)로는 거의 전류가 흐르지 않게 된다.

<49>

$$\begin{aligned} i_{La} &= I_1 \sin \omega t + I_3 \sin 3\omega t + I_5 \sin 5\omega t + \dots \\ i_{Lb} &= I_1 \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + I_3 \sin 3(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + I_5 \sin 5(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + \dots \\ i_{Lc} &= I_1 \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) + I_3 \sin 3(\omega t + \frac{2\pi}{3}) + I_5 \sin 5(\omega t + \frac{2\pi}{3}) + \dots \end{aligned}$$

【수학식 1】

<50>

$$\begin{aligned} i_{nL} &= i_{La} + i_{Lb} + i_{Lc} \\ &= 3[I_3 \sin 3\omega t + I_9 \sin 9\omega t + I_{15} \sin 15\omega t + \dots] \end{aligned}$$

【수학식 2】

<51> 또한 부하(12)가 불평형인 경우 제1 내지 제3 위상선(13a, 13b, 13c)를 통해 흐르는 부하측 상전류(i_{La} , i_{Lb} , i_{Lc})는 다음 수학식3과 같이 표현되며, 각 부하측 상전류(i_{La} , i_{Lb} , i_{Lc})의 합으로 표현되는 중성선 전류(i_{nL})는 기본파 전류와 그 고조파 전류의 합으로 구성된다.

<52>

$$\begin{aligned} i_{La} &= I_1 \sin \omega t + I_3 \sin 3\omega t + I_5 \sin 5\omega t + \dots \\ i_{Lb} &= I_1' \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + I_3' \sin 3(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + I_5' \sin 5(\omega t - \frac{2\pi}{3}) + \dots \\ i_{Lc} &= I_1'' \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}) + I_3'' \sin 3(\omega t + \frac{2\pi}{3}) + I_5'' \sin 5(\omega t + \frac{2\pi}{3}) + \dots \end{aligned}$$

【수학식 3】

<53> 따라서 인버터부(110)의 PWM 동작에 따라 중성선 전류(i_{nL})의 고조파 성분은 지그재그 변압기(120)로 유입되고 인버터부(110)로 흐르는 전원측 중성선 전류(i_{ns})는 다음 수학식4와 같이 기본파 전류의 영상성분만(기본파 전류의 정상 및 역상 성분은 서로 상쇄됨)으로 구성되어 인버터부(110)는 이 기본파 전류의 영상성분만 보상하면 되므로 요구되는 직류 동작전압 및 전류 정격이 낮아지게 되는 것이다.

<54>

$$i_{ns} = I_1 \sin \omega t + I_1' \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) + I_1'' \sin \left(\omega t + \frac{2\pi}{3} \right)$$

【수학식 4】

$$= 3 I_z \sin(\omega t + \Delta)$$

<55> I_z : 기본파 전류의 영상성분을 나타내는 계수<56> Δ : 기본파 전류의 영상성분의 위상

<57> 이하 도 2를 참조하여 도 1의 제어부(140)와 인버터부(110)를 보다 상세하게 설명하기로 한다. 즉 도 2는 도 1의 제어부(140)와 인버터부(110)가 형성하는 폐루프(Closed Loop) 제어 시스템의 구성을 기능적으로 나타낸 기능 블록도이다.

<58> 도 2의 제어 시스템은 60Hz 필터(21), 연산기(22), 보상기(23), 삼각파 발생부(24), 비교기(25), 스위칭 블록(26) 및 수동소자 블록(27)을 포함하여 구성된다.

<59> 도 2에서 상기 60Hz 필터(21)는 도 1의 제1 전류 센서(CS1)로부터 검출된 제1 소신호(i_{nl})의 고조파 성분을 제거한 후 이를 인버터부(110)의 제어를 위한 소정 지령전류 i_{ns} 로 출력하게 된다. 다음 수학식5는 상기 60Hz 필터(21)의 전달함수를 나타낸 것이다.

<60>

$$G(s) = \frac{\frac{\omega_0}{Q}s}{s^2 + \frac{\omega_0}{Q}s + \omega_n^2}$$

【수학식 5】

<61> 이때 상기 수학식5에서 ω_0 는 3상 교류 전원(13a, 13b, 13c)의 각(角)주파수이고, Q는 선택도를 나타낸 것이다.

- <62> 상기 연산기(22)는 상기 지령전류(i_{ns}^*)와 제2 전류 센서(CS2)로부터 검출된 제2 소신호(i_{ns}') 간의 소정 오차신호(e)를 출력하게 되고, 상기 보상기(23)는 오차신호(e)를 보상이득 K_C 로 보상하여 소정 오차전압(V_C)을 출력하게 된다.
- <63> 상기 삼각파 발생부(21)는 상기 오차전압(V_C)과 비교되는 소정 삼각파 캐리어 신호(C_T)를 생성하게 되고, 상기 비교기(25)는 오차전압(V_C)과 삼각파 캐리어 신호(C_T)를 비교하여 인버터부(110)의 PWM 동작을 제어하기 위한 전압제어신호(V_g)를 출력하게 된다.
- <64> 그리고 상기 스위칭 블록(26)은 도 1의 단상 전파 인버터 회로(111)와 동가의 것으로서, 상기 전압제어신호(V_g)를 근거로 그 스위칭 이득(K_{AMP})이 다음 수학식6와 같이 표시되는 전압신호(V_f)를 출력하게 된다.
- <65>
$$K_{AMP} = \frac{V_d}{A_T}$$

【수학식 6】
- <66> 상기 수학식6에서 A_T 는 삼각파 캐리어 신호(C_T)의 최대값을 의미하고, V_d 는 도 1의 단상 전파 인버터 회로(111)의 직류 동작전압을 의미한다.
- <67> 그리고 상기 수동소자 블록(27)은 도 1의 리플 제거용 인덕터(L_f)와 동가의 것으로서, 이는 단상 전파 인버터 회로(111)의 출력신호로부터 스위칭 리플을 제거하여 전원측 중성선 전류(i_{ns})를 출력하게 된다.
- <68> 그리고 도 2의 페루프 제어 시스템으로부터 부하측 중성선 전류(i_{nL})와 전원측 중성선 전류(i_{ns}) 간의 전달함수를 도출하면 다음 수학식7과 같다.

<69>
$$\frac{I_{nL}}{I_{ns}} = \frac{\left(\frac{1}{L_f} \frac{\omega_o}{Q} K_i \cdot K_{ur} \right) s}{s^3 + \left(\frac{R}{L_f} + \frac{K_i \cdot K_{ur}}{L_f} + \frac{\omega_o}{Q} \right) s^2 + \left(\frac{R}{L_f} \frac{\omega_o}{Q} + \frac{K_i \cdot K_{ur} \omega_o}{L_f} + \omega_o^2 \right) s + \left(\frac{R}{L_f} + \frac{K_i \cdot K_{ur}}{L_f} \right) \omega_o^2}$$

【수학식 7】

<70> 한편 도 3은 불평형 부하에서 상기 60Hz 필터(21)의 선택도(Q)가 각각 4.0, 6.05, 9.0 일때 도 2의 페루프 제어 시스템에 따른 능동 전력 필터의 보상 특성을 나타낸 것으로, 도 3에 의하면 필터의 선택도(Q)와는 거의 무관하게 부하측 중성선 전류(i_{nL})에서 기본파 전류의 영상성분(수학식4 참조)만이 3상 교류 전원(11a, 11b, 11c)측으로 흐르고, 부하측 중성선 전류(i_{nL})의 고조파 성분은 지그재그 변압기(120)를 통해 부하측으로 순환함을 알 수 있다.

<71> 도 4와 도 5는 본 발명의 일실시예에 따른 중성선 전류 제거를 위한 저감된 정격의 능동 전력 필터 장치의 시뮬레이션 결과를 나타낸 파형도이다.

<72> 먼저 본 시뮬레이션에 사용된 시스템 정수는 다음 표 2와 같다.

<73> 【표 2】

전원측	상전압 120V(실효값), 전원 주파수 60Hz, $L_{sa}, L_{sb}, L_{sc} = 0.35mH$
부하측	정격 6kVA의 단상 다이오드 정류기, UBF(UnBalanced Factor)=30%
인버터측	H-브리지 PWM 인버터, 필터 인덕터 $L_f=1mH$, 스위칭 주파수 20kHz, 동작전압 20V
지그재그 변압기측	상측 코일:하측 코일의 분할비=0.8:0.2

<74> 도 4 및 도 5는 각각 평형 부하일 때와 불평형 부하일 때 본 발명에 따른 능동 전력 필터 장치의 시뮬레이션 파형을 나타낸 것으로서, 설명의 편의상 전원측 상전류(i_{sa}, i_{sb}, i_{sc})중 i_{sb}, i_{sc} 와 부하측 상전류(i_{La}, i_{Lb}, i_{Lc})중 i_{Lb}, i_{Lc} 의 도시는 생략하기로 한다.

<75> 도 4에 도시된 것처럼 평형 부하인 경우에도 부하(12) 자체는 비선형으로 동작되기 때문에 부하측 중성선 전류(i_{nL})에는 3차, 9차, 15차 등의 과도한 3조파 전류가 흐르게 된다. 이때 도 4에서 부하측 상전류(i

i_{La})의 실효치는 17.25A이고, 부하측 중성선 전류(i_{nL})는 29.89A로 부하측 상전류(i_{La})의 1.73배에 달한다.

<76> 그리고 교류 전원(11a, 11b, 11c)측 임피던스가 지그재그 변압기(120)의 영상성분 임피던스 보다 작기 때문에 인버터부(110)가 동작을 시작하기 전(즉 필터가 구동되기 전 바이패스 스위치(112)가 닫혀 있을 때)에는 부하측 중성선 전류(i_{nL})의 고조파 성분 대부분이 전원측으로 흐르며, 지그재그 변압기(120)측으로는 적은 양만 흐르게 되어 지그재그 변압기(120)만으로는 부하측 중성선 전류(i_{nL})의 고조파 성분 제거가 잘 이루어지지 않음을 알 수 있다.

<77> 그러나 필터의 구동에 따라 인버터부(120)가 동작하게 되면 중성선(14)에 발생된 3조파 전류의 대부분은 지그재그 변압기(120)를 통하여 부하(12)로 순환되며, 전원측 중성선 전류(i_{ns})는 도 4에 도시된 것처럼 거의 0이 된다. 이때 부하측 상전류(i_{La} , i_{Lab} , i_{Lac})의 왜고조파율(THD)는 98.9%이나 전원측 상전류(i_{Sa} , i_{Sab} , i_{Sac})의 THD는 57.5%로 감소되며, 이는 지그재그 변압기(120)를 통해 각 상에 주입된 3조파 성분과 부하측 상전류(i_{La} , i_{Lab} , i_{Lac})의 3조파 성분이 서로 상쇄되어 전원측의 각 상에는 나타나지 않기 때문이다.

<78> 도 5는 불평형 부하에서 본 능동 전력 필터의 시뮬레이션 파형을 나타낸 것으로 부하측 상전류(i_{La} , i_{Lab} , i_{Lac})의 실효값은 각각 17.25A, 25.81A, 9.0A이고, 부하측 중성선 전류(i_{nL})는 32.3A로 이 전류에는 고조파 성분 뿐만 아니라 부하 불평형에 의한 기본파 전류의 영상성분도 포함된다.

<79> 그러나 필터의 구동에 따라 인버터부(110)가 동작되면, 부하측 중성선 전류(i_{nL})에서 기본파 전류의 영상성분만이 인버터부(110)를 통해 흐르게 되고, 부하측 중성선

전류(i_{nL})의 고조파 성분은 지그재그 변압기(120)를 통해 부하(12)측으로 순환되게 된다. 이 경우 본 출원인의 실험에 의하면, 부하측 상전류(i_{La} , i_{Lb} , i_{Lc})의 THD는 각각 101.1%, 88.1% 및 111.7%이나 전원측 상전류(i_{Sa} , i_{Sab} , i_{Sac})의 THD는 각각 59.1%, 48.7%, 110.2%로 감소되어 중성선(14)에 발생하는 고조파 성분을 효율적으로 제거할 수 있게 된다.

<80> 즉 도 6은 불평형 부하(예컨대, UBF=30%)일 때 부하측 중성선 전류(i_{nL})(a)와 전원측 중성선 전류(i_{ns})(b) 및 지그재그 변압기(120)를 통해 부하(12)측으로 순환되는 고조파 전류(i_{nf})(c)의 주파수 스펙트럼을 각각 나타낸 것으로서, 도 6에 도시된 것처럼 중성선(14)에서 발생하는 전류(1, 3, 5, 7, 9, ...)의 고조파 성분이 지그재그 변압기(120)를 통해 부하측으로 순환되는 것을 알 수 있다.

<81> 또한 다음 표 3은 상술한 [P.N. Enjeti. W. Shiren, "Analysis and Design of a New Active Power Filter to Cancel Neutral Current Harmonics in Three-Phase Four-Wire Electric Distribution Systems"]에 기재된 종래 능동 전력 필터와 본 발명에 따른 능동 전력 필터에 요구되는 내부 인버터 회로의 kVA정격을 비교한 것이다.

<82> 【표 3】

UBF	종래 kVA 정격(PU)	본 발명의 kVA 정격(PU)
0%	1	0
10%	1.05	0.04
30%	1.27	0.11
50%	1.62	0.17

<83> 상기 표 3은 평형 부하일 때의 인버터 kVA 정격을 1pu로 가정한 것으로서, 본 발명에 따른 인버터 kVA 정격이 종래 보다 훨씬 작으며 특히 부하(12)가 평형인 경우 전원측 중성선 전류(i

ns)가 거의 0이 되므로 요구되는 인버터 kVA 정격이 이상적으로 0이 됨을 알 수 있다.

<84> 도 7은 본 발명의 다른 실시예에 따른 중성선 전류 제거를 위한 저감된 정격의 능동 전력 필터 장치의 회로 구성을 나타낸 것으로서, 도 7에서 도 1에 도시된 구성과 동일한 구성에 대하여는 동일한 참조번호(부호)를 붙이고 그 상세한 설명은 생략하기로 한다.

<85> 도 7의 구성은 도 1의 지그재그 변압기(120)를 다수의 코일(L4~L10)로 구성된 일반적인 Δ -Y 변압기(210)로 대체한 것으로서, 도 7에서 코일(L4)과 코일(L7)에는 동일한 상전류가 흐르고, 코일(L5)과 코일(L8)에도 동일한 상전류가 흐르며, 코일(L6)과 코일(L9)에도 동일한 상전류가 흐르게 된다. 그리고 도 7의 구성에 따른 능동 전력 필터의 작용 및 효과는 도 1의 구성과 동일하므로 그 상세한 설명은 생략하기로 한다.

<86> 상술한 바와 같이 본 발명에 따른 능동 전력 필터는 중성선으로부터 발생하는 고조파 성분을 효율적으로 제거함은 물론 부하 불평형에 의한 기본파 전류만이 내부 인버터 회로에 흐르기 때문에, 모든 3조파 전류가 인버터 회로를 통해 흐르는 종래 능동 전력 필터 보다 요구되는 인버터 전류 정격이 낮아지게 된다. 또한 본 발명에 따른 능동 전력 필터는 부하가 불평형인 경우에도 기본파 전류의 영상성분만 보상하면 되므로 3조파 전류도 보상해야 하는 종래 능동 전력 필터에 비해 내부 인버터 회로에 요구되는 직류 동작전압이 현격히 작아지게 된다.

【발명의 효과】

<87> 이상 설명한 바와 같이 본 발명에 의하면, 시스템 임피던스에 영향을 받지 않고, 중성선을 통해 발생하는 고조파 전류를 용이하게 제거할 수 있으며, 부하 불평형시에도

내부 인버터가 기본파 영상전류만을 보상하게 되므로 부하용량대비 인버터 정격을 대폭 낮출 수 있게 된다.

<88> 또한 본 발명에 의하면, 중성선 전류의 고조파 성분 뿐만 아니라 전원측 상전류의 고조파 성분도 함께 제거함으로써 전원측 상전류의 THD를 개선할 수 있으며, 3상 4선식 배전계통에서 발생하는 중성선 전류 제거를 위한 저가형 능동 전력 필터를 제공할 수 있게 된다.

【특허청구범위】**【청구항 1】**

3상 4선식 전력 시스템의 3상 교류 전원과 부하 사이를 연결하는 중성선에 발생되는 고조파 성분을 제거하기 위한 능동 전력 필터 장치에 있어서,

상기 중성선에 직렬로 접속되고 소정 전압제어신호를 근거로 부하측 중성선 전류의 기본파 성분은 상기 3상 교류전원측으로 흐르고 부하측 중성선 전류의 고조파 성분은 상기 부하측으로 순환되도록 상기 중성선의 전류 흐름을 단속하는 인버터부,

상기 3상 교류 전원의 각 위상선과 상기 중성선 사이에 접속되어 상기 부하측 중성선 전류의 고조파 성분이 상기 위상선을 통해 부하측으로 순환되도록 전류 경로를 형성하는 변압기,

상기 변압기와 상기 인버터부 사이에 접속되어 상기 변압기로부터 공급되는 소정 동작전원을 직류 전압으로 정류하여 상기 인버터부로 인가하는 정류부 및,

상기 중성선으로부터 추출된 부하측 중성선 전류의 제1 소신호와 전원측 중성선 전류의 제2 소신호를 근거로 상기 인버터부의 PWM 동작 제어를 위한 상기 전압제어신호를 생성하는 제어부를 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 중성선 전류 제거를 위한 저감된 정격의 능동 전력 필터 장치.

【청구항 2】

제 1 항에 있어서,

상기 변압부는 상기 중성선에 그 중성점이 연결되고 그 출력단이 각 위상선에 대응되게 연결되며 상기 중성점과 각 출력단 사이에 소정 분할비를 갖는 중간 탭이 각각 형성된 제1 내지 제3 코일부를 구비하여 구성되고,

상기 중간 탭이 상기 정류부의 입력단에 접속되어 구성된 것을 특징으로 하는 중성선 전류 제거를 위한 저감된 정격의 능동 전력 필터 장치.

【청구항 3】

제 2 항에 있어서,

상기 중간 탭은 각각 상기 제1 내지 제3 코일부의 상측 코일 : 하측 코일의 분할비가 $1-X : X$ 로 되는 지점에 형성되고, 상기 X 는 0.5 이하의 값을 갖도록 구성된 것을 특징으로 하는 중성선 전류 제거를 위한 저감된 정격의 능동 전력 필터 장치.

【청구항 4】

제 1 항에 있어서,

상기 변압기는 Δ -Y 변압기인 것을 특징으로 하는 중성선 전류 제거를 위한 저감된 정격의 능동 전력 필터 장치.

【청구항 5】

제 1 항에 있어서,

상기 중성선 상에는 부하측 중성선 전류로부터 상기 제1 소신호를 추출하기 위한 제1 전류 센서와, 전원측 중성선 전류로부터 상기 제2 소신호를 추출하기 위한 제2 전류 센서가 직렬 접속되고,

상기 제어부는 상기 제1 및 제2 전류 센서로부터 상기 제1 및 제2 소신호를 인가받도록 구성된 것을 특징으로 하는 중성선 전류 제거를 위한 저감된 정격의 능동 전력 필터 장치.

【청구항 6】

제 1 항에 있어서,

상기 인버터부는 상기 정류부를 통해 공급되는 소정 직류 동작전원을 충전하는 평활용 커패시터,

상기 제어부로부터 인가되는 상기 전압제어신호에 따라 PWM 동작되어 부하측 중성선 전류의 고조파 성분이 상기 변압기를 통해 상기 부하측으로 순환되도록 전류 흐름을 스위칭하는 단상 전파 인버터 회로,

상기 단상 전파 인버터 회로의 출력단에 접속되어 스위칭 리플을 제거하는 리플 제거용 인덕터 및,

상기 단상 전파 인버터 회로의 정상 동작시 개방 상태를 유지하다가 고장시에는 상기 제어부로부터 인가되는 소정 제어신호에 따라 연결 상태로 전환되는 바이패스 스위치를 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 중성선 전류 제거를 위한 저감된 정격의 능동 전력 필터 장치.

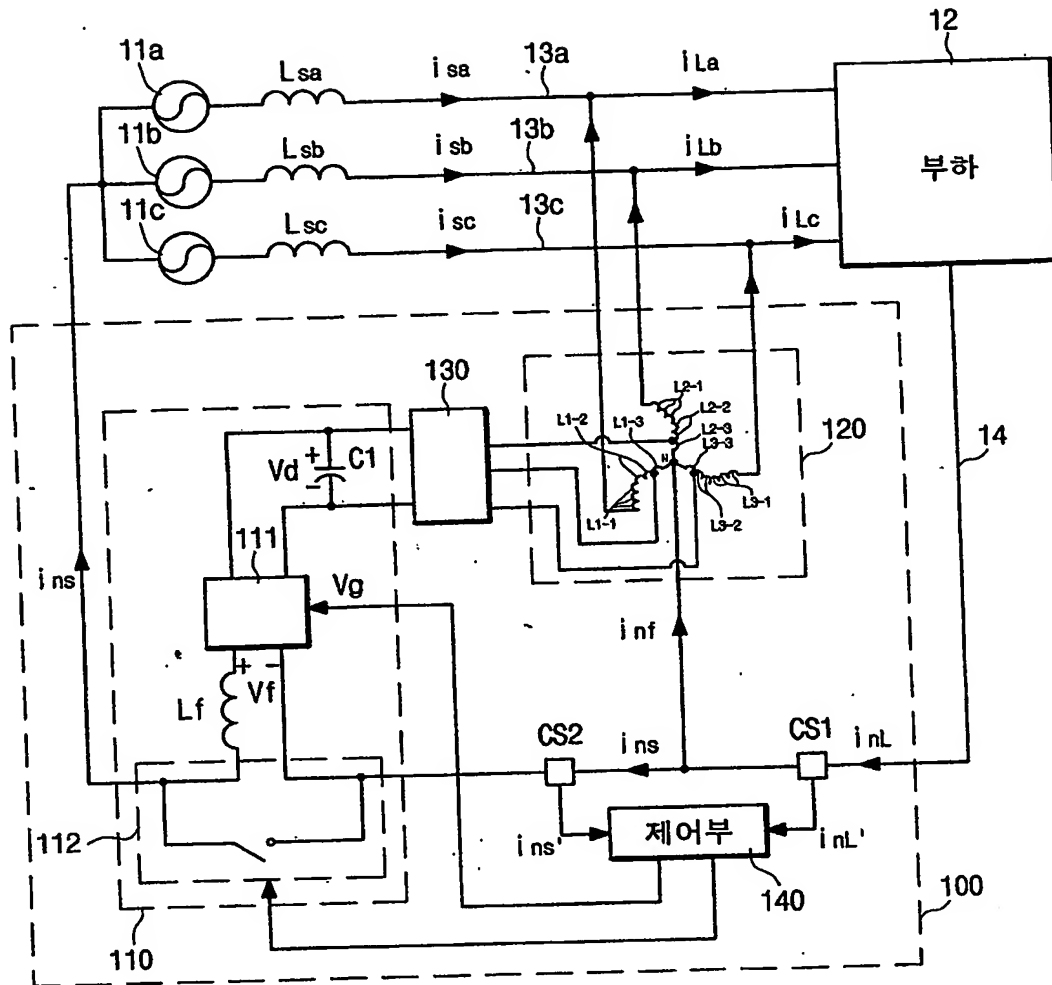
【청구항 7】

제 1 항에 있어서,

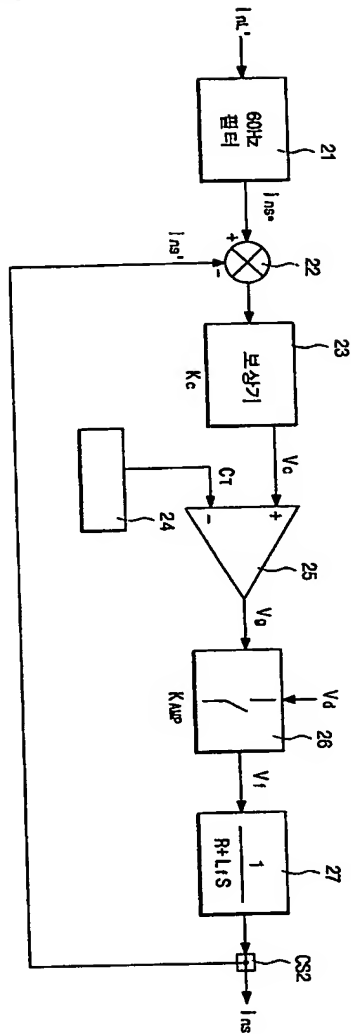
상기 인버터부는 단상 반파 인버터로 구성된 것을 특징으로 하는 중성선 전류 제거를 위한 저감된 정격의 능동 전력 필터 장치.

【도면】

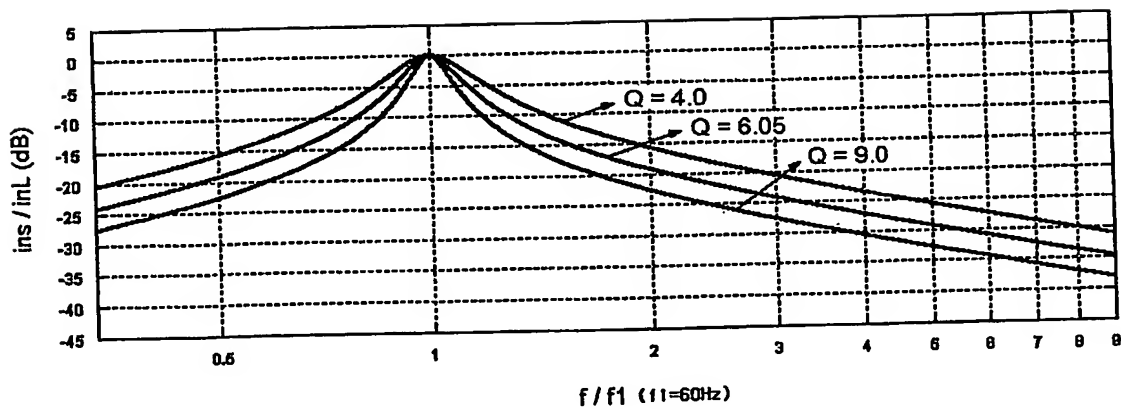
【도 1】



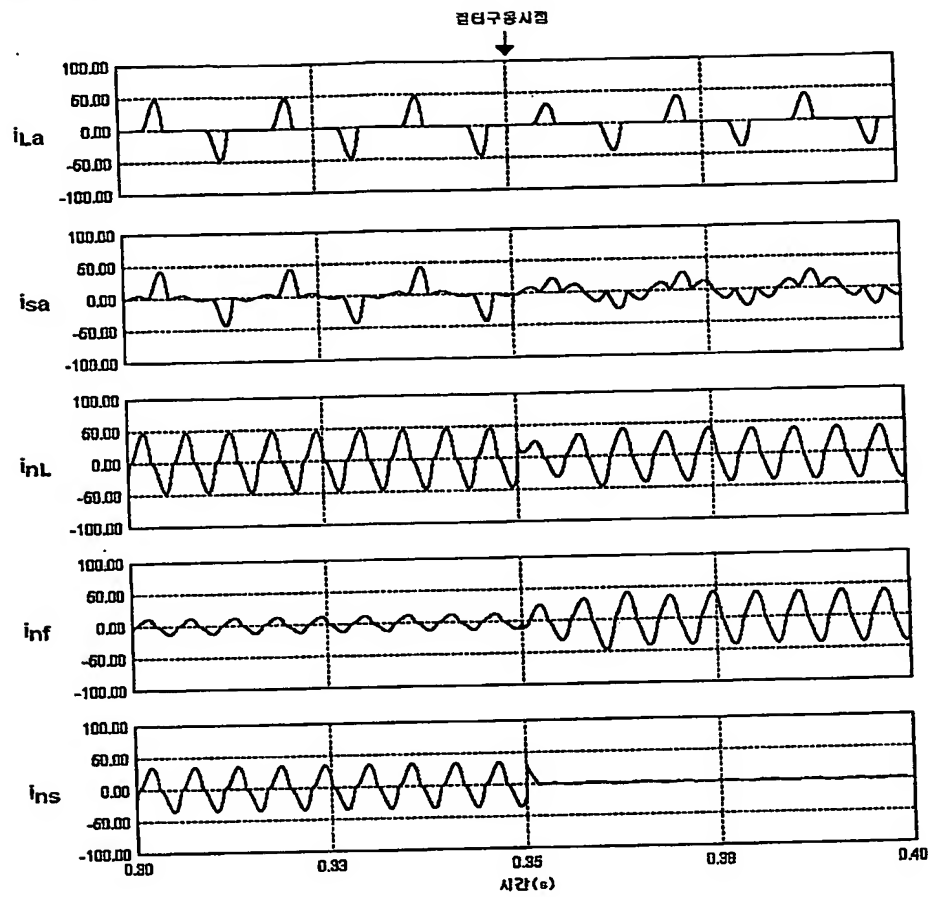
【도 2】



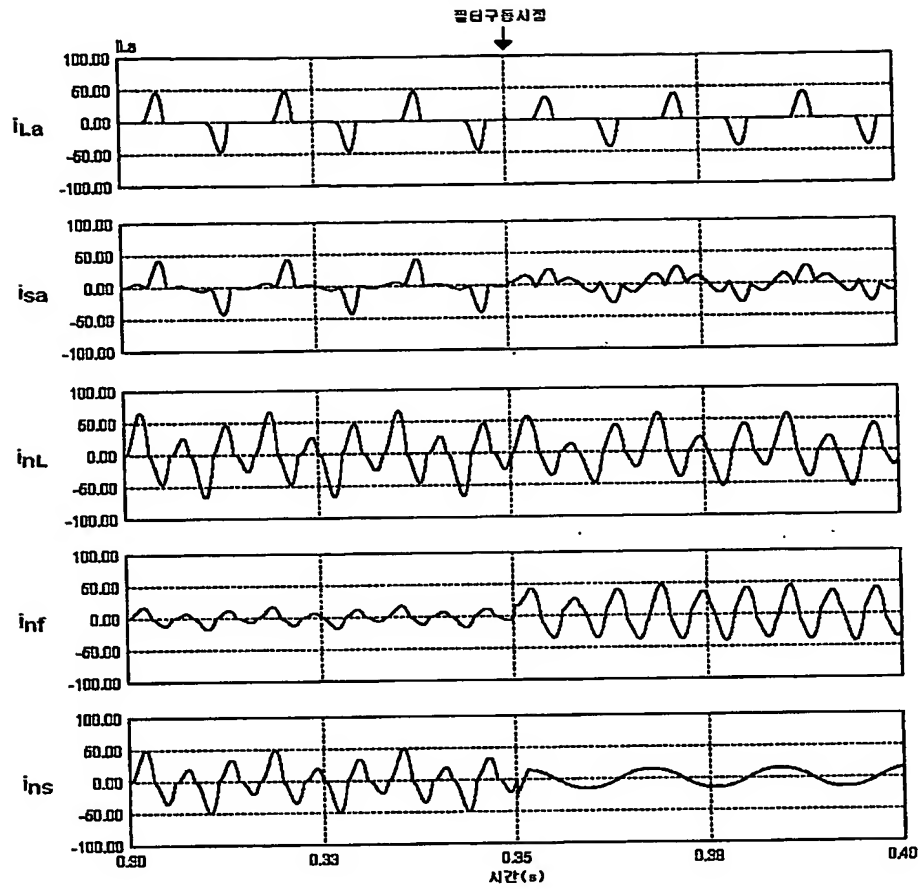
【도 3】



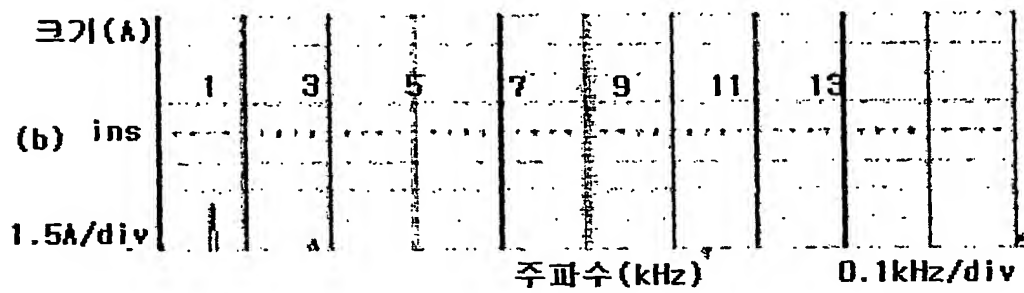
【도 4】



【도 5】



[도 6]



【도 7】

